

NGU Rapport 2000.006

Temperaturgradienter, varmestrøm og
radioaktiv energi i Osloområdet

Rapport nr.: 2000.006		ISSN 0800-3416	Gradering: Fortrolig til 2005 Åpen	
Tittel: Temperaturgradienter, varmestrøm og radioaktiv energi i Osloområdet.				
Forfatter: Kirsti Midttømme		Oppdragsgiver: Statoil		
Fylke: Oslo & Akershus		Kommune: Oslo		
Kartblad (M=1:250.000) Oslo		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) Oslo 1914-4		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 28	Pris: Kr. 102,-	
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 30.12.1999	Prosjektnr.: 277100	Ansvarlig: <i>[Signature]</i>	
<p>Sammendrag:</p> <p>Varmestrømmen i grunnfjellsområdet antas ut fra studier på 70-tallet å være rundt 60 mW/m². Varmeledningsevnen for vannmettede bergarter antas å være for: grunnfjellsbergartene 3,4 W/mK kabrosilurske overdekket 3,0 W/mK. gang- og dypbergartene (syenittene) i Oslofeltet 2,2 W/mK (usikker) På grunn av lav varmeledningsevne antas temperaturgradienten å være betydelig høyere i gang- og dypbergartene i Oslofeltet enn i grunnfjellsområdet.</p> <p>Ut fra XRF / ICP-MS analyser, samt data fra Raade (1974), antas et energibidrag fra radioaktivitet i det aktuelle området er som følgende</p> <p style="padding-left: 40px;">Gang og dypbergarter fra perm: 1,7 ± 0,3 μW/m³ Grunnfjellbergarter: 1,5 ± 0,2 μW/m³</p> <p>Ut fra analysene er det gunstigere varmestrømsverdier i grunnfjellsbergartene på Nesodden enn i området Bekkelaget-Klemetsrud. Det er lite trolig at de gunstige bergartene som finnes på Nesodden finnes igjen i Bekkelaget-Klemetsrud-området. Med stor sannsynlighet antas berggrunnen med dypet i området øst for Oslofjorden å bestå av de samme gneisbergartene som finnes i overflaten i det området.</p>				
Emneord: grunnvarme	gneis			
radioaktivitet	XRF			
prekambrium			fagrapport	

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. VARMESTRØM I OSLOMRÅDET	4
2. VARMELEDNINGSEVNER I BERGARTER I OSLO	4
3. RADIOAKTIV ENERGIPRODUKSJON	6
4. TEMPERATURGRADIENTEN I OSLO.....	8
4.1. Effekt av paleoklima på temperaturgradienten	8
4.2. Effekt av topografi på temperaturgradienten.....	9
4.3. Betydningen av lateral varmestrøm.....	9
5. TVERRSNITT AV BERGGRUNNEN ØST FOR OSLOFJORDEN.	9
6. KONKLUSJON.....	10
FAGLIGE KONSULENTER VED NGU.....	10
REFERANSER.....	11
FIGUR 1-13.....	12
TABELL 2-6.....	25

1. VARMESTRØM I OSLOMRÅDET

Norge burde kanskje være fargelagt hvitt på dagens varmemestromskart over Europa. Det finnes knapt noen varmemestromsmålinger i Norge, og de få målinger som er utført virker å være relativt usikre. Figur 1 viser deler av "Heat Flow Map of Europe", publisert i "Terrestrial Heat Flow in Europe" fra 1979 og editert av Cermak & Rybach. Ifølge kartet har Osloområdet en positiv varmemestrom anomali med varmemestromsverdier mellom 50 og 60 mW/m². Årsaken til de høye varmemestrommer er ifølge Haenel et al. (1979) et høy innhold av radioaktive elementer i berggrunnen.

Figur 8 viser sannsynligvis det siste varmemestromskartet som er publisert over Skandinavia (Kukkonen et al., 1998). De norske målingene som er avmerkt er utført på 70-tallet enten som målinger i borehull eller i innsjøer.

2. VARMELEDNINGSEVNER I BERGARTER I OSLO

I samarbeid med NVE, har NGU arbeidet med kartlegging av potensialet for energiuttak ved hjelp av varmepumper. I 1998 ble det startet et kartleggingsprosjekt over energipotensialet av fjellbrønner på Bekkestua i Oslo. NGU bygde opp et apparat for måling av varmeledningsevner basert på en metode utviklet av Middleton (1993). Det ble målt på 87 bergartsprøver fra Osloområdet. 51 av disse målingene er prøver fra Oslofjordovergruppen dvs. sedimentære bergarter fra kambrosilurtiden. 29 av disse igjen er fra Oslogruppen. Det er formasjonen i Oslogruppen som danner kambrosiluroverdekket i Oslo vest (se figur 2). Formasjonene i Oslogruppen består av vekslende lag av kalkstein, leirstein, knollekalk og sandstein. Et histogram over middelverdien av varmeledningsevnen målt på prøvene fra Oslogruppen er vist i figur 3. Det ble i samme studiet målt på 9 gneisprøver fra Nesodden. Varmeledningsevner målt på disse prøver er også vist i figur 3.

Varmeledningmålingene utført ved NGU ble testet mot målinger utført med 3 andre målemetoder ved andre forskningsinstitutt. Tabell 1 viser resultatet av de målingene som er interessant for dette prosjektet. Våres målinger er i godt samsvar med målinger utført ved andre institusjoner.

Tabell 1 Sammenlignbare varmeledningmålinger på kambrosilurprøver fra Oslogruppen og en gneisprøve fra Nesodden. Målingene er utført på prøver preparert fra samme bergartsprøve. Det er målt på 2 prøver, en preparert normalt og en parallelt med antatt lagdeling. Benevning for varmeledningsevnen er $W/m\cdot K$.

	Univ. i Århus Needle probe	NGU Middleton metode	NTNU Transient metode	Sintef Divided bar
Leirstein nr 63	1,6 / 2,1	2,0 / 2,7		
Kalkstein nr 38	2,0 / 2,8	2,5 / 2,7		
Kalkstein nr 81		2,6 / 2,8	2,5 (min)	2,4 / 2,5
Granittisk gneis nr 49	3,1 (min)	3,1 / 3,2	3,2 (min)	2,7

Varmeledningmålingene vist i figur 3 er middelverdien av flere målinger av flere prøver av samme bergartsprøve. Disse målingene er utført på tørre prøver. Varmeledningsevnen ble også målt på vannmettede prøver. Generelt er vannmettet varmeledningsevne for kalkstein, sandstein og leirstein 10 % høyere. Vannmettede målinger av gneisprøvene var nærmere 20 % høyere enn de tørre målingene. En forklaring på den høye effekten av vannmetning for gneisprøvene er at disse prøvene er tatt i vegskjæringer og at de derfor kan være utsatt for forvitring. Er dette tilfelle måles det for lave verdier både i vannmettet og i tørr tilstand.

Varmeledningsevner ble målt både parallelt med og normalt på antatt lagdeling. Målingene parallelt med lagdeling er plottet mot de normalt på lagdelingen i figur 4. For enkelte prøver, spesielt leirsteinprøvene er det forskjeller med hensyn på måleretning på nærmere 50 %. Det vil for disse bergartene være gunstigere å bore energibrønner normalt på lagdelingen enn parallelt eller skrått på lagdelingen.

Flere publiserte varmeledningmålinger av gneiser er vist i figur 5. Plottet viser at det måles store forskjeller i varmeledningsevne. Årsakene til variasjonene er dels måletekniske, mange av målemetodene er lite egnet for måling av inhomogene bergartsprøver. Det er også store variasjoner i prøvepreparering og prøvetilstand ved måling. Den målte variasjonen gjenspeiler også at det er store teksturelle og mineralogiske variasjoner i bergartene som er klassifisert som gneis.

I NGU/NVE studiet fra Bekkestua er det blitt målt på flere gang- og dypbergarter (se figur 6) Varmeledningsevnen til disse prøvene er lavere enn for de metamorfe og sedimentære bergartene. Det er ikke blitt målt på syenittprøver. Swanberg et al. (1974) målte varmeledningsevner på prøver av syenitt i Hurdal til 2,0 W/mK . Andre målinger som er publisert av syenitt er også vist i figur 6. Ut fra tilgjengelig informasjon vil et anslag over varmeledningsevnen til syenitt være svært usikker. Ettersom bergarten har et lavt kvartsinnhold antas det at bergarten har lavere varmeledningsevne enn både kambrosiluroverdekket og grunnfjellet.

3. RADIOAKTIV ENERGIPRODUKSJON

Varmestrømmen vil være bestemt av mange faktorer. Det viktigste bidraget er fra spalting av radioaktive elementer i berggrunnen. Ifølge Rybach (1981) stammer 20 – 80 % av varmemstrømmen ved overflata fra energi dannet ved spalting av radioaktive elementer. I et studie fra Australia utført av Houseman et al. (1989) anslo de at varmemstrømmen økte med 45 mW/m^2 på grunn av høyt uraninnhold i de sedimentære bergartene over grunnfjellet. De viktigste radioaktive elementer er uranisotopene U^{238} og U^{235} , thoriumisotopet Th^{232} og kaliumisotopet K^{40} .

Sammenheng mellom varmemstrøm ved overflaten og radioaktiv energiproduksjon ved overflaten (A) antas å være lineær hvor varmemstrømmen fra nedre del av skorpa (Q_0) er konstant. Ifølge Sclater et al. (1980) er Q_0 mellom 21 og 25 mW/m^2 .

$$Q = Q_0 + Ah \quad \text{lign. 1}$$

Ifølge ligning 1 er varmemproduksjon med dypet (h) konstant. Det er en forenkling. Målinger utført blant annet av Ormaasen & Raade, (1978) på prekambriske bergarter i Norge, viser at varmemproduksjonen minker eksponentielt med dypet (lign.2)

$$A(z) = A(0)e^{\left[\frac{-z}{H}\right]} \quad \text{lign. 2}$$

På grunn av høyt innhold av radioaktive elementer i berggrunnen er varmemstrømmen i Oslo og deler av Akershus og Østfold relativt høy. Området som er aktuelt for dette prosjektet består av bergarter fra Oslofeltet, dvs gang- og dypbergarter fra karbon og perm og (250-300 mill år), sedimentære bergarter fra kambrosilur (400-550 mill år) og prekambrisk grunnfjell (1.4 – 1.6 milliarder år). Tabell 2-4 viser antatt varmemproduksjon i forskjellige bergarter.

Energibidraget fra radioaktive elementer beregnes ut fra ligning 3 (Rybach, 1973).

$$A = \rho \cdot 10^{-5} (9,52C_U + 2,56C_{Th} + 3,48C_K) \quad [\mu\text{W/m}^3] \quad \text{lign. 3}$$

ρ	-	tetthet kg/m^3
C_U	-	konsentrasjonen av uran i [ppm].
C_{Th}	-	konsentrasjonen av thorium [ppm].
C_K	-	konsentrasjonen av kalium [%].

Siden det er radioaktive elementer som er energikilden vil den geologiske alder (alder fra dannelse) ha betydning for energibidraget. Figur 9 viser antatt varmemstrøm i Øst-Europa som

funksjon av geologisk alder. Ut fra betraktning av alder vil det være høyere radioaktivitet i dypbergartene fra perm og kambrosiluroverdekket enn grunnfjellsbergartene.

Radioaktiviteten ble undersøkt ved gamma-ray spektrometer av Gunnar Raade på 1970 tallet. Figur 10 og tabell 5 viser kartutsnitt og beregnet radioaktiv energiproduksjon for prøver fra området rundt Maridalen og Holmenkollen.

Den radioaktive energiproduksjonen for bergartsprøvene varierer fra 1,03 til 3,76 $\mu\text{W}/\text{m}^3$. Kalium-innholdet i de analyserte prøvene er relativt konstant. Variasjonene i det radioaktive energibidraget skyldes først og fremst variasjoner i thoriuminnholdet. Ifølge analysene er det større variasjoner i det radioaktive energibidraget i normarkitten enn i syenitten. Den høyeste innholdet av radioaktive elementer er målt i den ene prøven som er tatt fra alkaligranitt (ekeritt) ved østsiden av Maridalsvannet. Helikoptermålinger med gamma-ray spektrometer utført av NGU i 1998 i området Oppkuven viste også høye innhold av de radioaktive elementene fra ekerittområdene.

Det aktuelle området for dette prosjektet består hovedsakelig av grunnfjellbergarter, enten med noen hundre meter med kambrosiluroverdekning eller som grunnfjell i dagen. 15 representative bergartsprøver ble analysert for hoved- og sporelementer ved XRF (NGU) og med ICP-MS (Geological Survey of Finland). Sporelementanalyse med ICP-MS og XRF er en mer nøyaktig metode å bestemme innholdet av de radioaktive elementene enn gamma-ray spektrometer. Figur 11 og tabell 6 viser lokalitet til prøvene og beregnet energibidrag. Analysene viser store variasjoner både i thorium-, uran- og kaliuminnholdet. De mørke tonalitiske bergartene har som ventet lavere innhold av de radioaktive elementene enn de lysere granittiske bergartene. Utenom den trenden er det vanskelig ut fra disse dataene å finne noen klare sammenhenger mellom bergartstype og innholdet av de radioaktive elementene. De tre prøvene fra Nesodden skiller seg ut med høyere radioaktivt innhold.

Ut fra disse analysene, samt data fra Raade (1974), antas et energibidrag fra radioaktivitet i det aktuelle området er som følgende

Dyp og gangbergarter fra perm: $1,7 \pm 0,3 \mu\text{W}/\text{m}^3$

Grunnfjellbergarter: $1,5 \pm 0,2 \mu\text{W}/\text{m}^3$

4. TEMPERATURGRADIENTEN I OSLO

Temperaturmålinger i forbindelse med dypboringen ved det nye rikshospitalet viser en temperaturgradient t på 27,7 K/km i hornfelsbenken de boret i. Varmeledningsevnen for hornfels ble målt av NTNU til 2,7 W/mK.

Beregnet varmestrøm fra disse målingene er.

$$q = k \, dT/dz = 2,7 \cdot 27,7 = 75 \text{ mW/m}^2$$

Den beregnede varmestrømmen er betydelig høyere enn den som er vist på Heat Flow kartet (figur 1).

Siden det antas å være relativt liten forskjell mellom varmeledningsevnen til kambrosiluroverdekket og grunnfjellet, er det lite trolig at man får noen temperatureffekt av kambrosilurdekket. Figur 7 viser antatt temperatur med dypet plottet for lokalitetene A, B og C vist i figur 2. En oppnår en betydelig temperaturgevinst ved å bore i syenitt og nordmarkitt, men med de varmeledningsevnerne vi har benyttet, vil kambrosiluroverdekket ha ubetydelig effekt på temperaturforløpet med dypet.

Følgende data er benyttet i figur 7.

Tykkelse på kambrosiluroverdekket 400m

Varmeledningsevne (vannmettet) gneis 3,4 W/mK

Varmeledningsevne (vannmettet) Oslogruppen 3,0 W/mK

Varmeledningsevnen (vannmettet) nordmarkitt 2,2 W/mK (usikker)

Varmestrøm: 60 mW/m²

Grunnvannstemperatur = midlere overflatetemperatur 6,0 °C

4.1. Effekt av paleoklima på temperaturgradienten

Svært lave varmestrømsverdier, ned mot 2,4 mW/m² er målt i flere borhull i Finland, blant annet i det området som er avmerket på Figur 8. Disse lave målingene forklares med en palaeoklima-effekt på temperaturgradienten. Grunntemperaturen i Karelen under siste istid (Weichselian 60 000 –12 000 år) var -10 - -15°C. Effekten av dette på dagens varmestrøm ved 200 –1000 m dyp beregnes til å være en reduksjon på mellom 12-25 mW/m² (Kukkonen et al. 1998).

En forventer at dagens varmestrøm i Osloområdet også er påvirket av siste istid. I motsetning til Karelen var Osloområdet dekket med is under det meste av istiden. Temperaturen i berggrunnen (overflatesjiktet) rundt Oslo antas derfor å være 0°C under siste istid. En forventer derfor ikke å finne den samme påvirkningen på temperaturgradienten i Osloområdet

som i Karelen. Denne antatte temperaturpåvirkningen antas også være lik over hele området da det ikke antas å ha vært store lokale klimavariasjoner i Osloområdet.

4.2. Effekt av topografi på temperaturgradienten

Topografien vil påvirke temperaturgradienten og varmestrømmen i berggrunnen. Temperaturgradienten er lavere under en åsrygg enn under en dal. Topografieffekten kan beregnes ved Laplace ligning (Buntebarth, 1984). I prosjektområdet er det for liten topografi til at denne effekten vil ha noen stor innvirkning på varmestrømmen i området.

4.3. Betydningen av lateral varmestrøm

Definisjonen på varme er: "energitransport for å oppnå likevekt, dvs. lik temperatur." Varme oppstår der det er temperaturvariasjoner. En må derfor forvente at det også vil være laterale varmestrømmer i områder med forskjellige vertikale varmestrømsverdier. De laterale strømmene vil til en viss grad utjevne de vertikale variasjonene. I et studie fra et område i Australia med store varmestrømsanomalier utført av Houseman et al. (1989) konkluderer de med at varmestrømsanomaliene i skifer er svært lokale (< 5km) mens anomaliene i grunnfjellet hadde større utstrekning (30-40 km). Det skyldes at bergartene har forskjellig varmeledningsevne.

I prosjektområdet kan lateral varmestrøm fra gang- og dypbergartene øke varmestrømmen i grunnfjellet i grenseområdet mellom disse sonene. Det kan være en årsak til at de måler så høye varmestrømmer ved rikshospitalet.

5. TVERRSNITT AV BERGGRUNNEN ØST FOR OSLOFJORDEN.

En usikkerhetsfaktor i dette prosjektet er hvordan berggrunnen varierer med dypet. Graversen (1984) forsøkt å modellere strukturene ned til 3-5 km dyp i de prekambriske bergartene i Oslofjord- Øyern området. Tolkningene er usikre, men det er ikke grunn til å anta at bergartene i de øvre 4-5 km i området Bekkelaget-Klementsrud skiller seg vesentlig fra de som finnes generelt i det undersøkte området øst for Oslofjorden. Figur 12 a og b viser snitt 16-19 tolket av Graversen.

6. KONKLUSJON

Varmestrømmen i grunnfjellsområdet antas ut fra studier på 70-tallet å være rundt 60 mW/m². Varmeledningsevnen for vannmettede bergarter antas å være:

- grunnfjellsbergartene 3,4 W/mK
- kambrosilurske overdekket 3,0 W/mK.
- gang og dypbergarter (syenitt) i Oslofeltet 2,2 W/mK (usikker)

På grunn av lav varmeledningsevne antas temperaturgradienten å være betydelig høyere i gang og dypbergartene i Oslofeltet enn i grunnfjellsområdet.

På grunnlag av kjemiske analyser, (XRF & ICP-MS) samt data fra Raade (1974) antas det at energibidraget fra radioaktivitet i det aktuelle området er som følgende:

- Gang og dybbergarter fra perm: $1,7 \pm 0,3 \mu\text{W}/\text{m}^3$
- Grunnfjellbergarter $1,5 \pm 0,2 \mu\text{W}/\text{m}^3$

Ut fra analysene virker det å være gunstigere varmemestrømsverdier på Nesodden enn i området Bekkelaget-Klemetsrud. Det er usikkert hvorfor. Det er lite trolig at de gunstige bergartene som finnes på Nesodden finnes igjen i Bekkelaget-Klementsruddområdet. Med stor sannsynlighet antas berggrunnen med dypet i området øst for Oslofjorden å bestå av de samme gneisbergartene som finnes i overflaten.

Figur 13 viser antatt varmemestrømmen i det rene grunnfjellsområdet. Det antas en varmemestrøm på 23 mW/m². Det antas en noe lavere varmeproduksjon i de dypere bergartene. De øverste 5 km har en gjennomsnittlig energibidrag på 1,5 mW/m² pr.km

FAGLIGE KONSULENTER VED NGU

Berggrunn : Øystein Nordgulen.

Løsmasse: Eiliv Larsen.

Geofysikk: Harald Elvebakk og Mark Smethurst.

REFERANSER

Buntebarth, G. 1984: Geothermics. An Introduction. Springer Verlag. 144pp.

Cermak, V. & Rybach, L. 1979: Terrestrial Heat Flow in Europe, Springer Verlag

Graversen, O., 1984: Geology and Structural Evolution of the Precambrian Rocks of the Oslofjord – Øyeren Area, Southeast Norway. NGU Bulletin 398, 50pp.

Haenel, R.; Grønlie, G. & Heier, K.S. 1979: Terrestrial Heat Flow Determination in Norway and an Attempted Interpretation In: Cermak, V. & Rybach, L. (eds) Terrestrial Heat Flow in Europe, 232 –239. Springer Verlag

Houseman, G. A., Cull, J. P., Muir, P. M. & Paterson, H. L. 1989: Geothermal signatures and uranium ore deposits on the Stuart Shelf of South Australia. *Geophysics*, 54,2, 158-170.

Kukkonen, I. T., Gosnold, W. D. & Šafanda, J. 1998: Anomalously low heat flow density in eastern Karelia, Baltic Shield a possible palaeclimatic signature. *Tectonophysics* 291, 235-249.

Middleton, M. 1993. A transient method of measuring the thermal properties of rocks. *Geophysics*, 58.3, 357-365

Ormaasen, D.E. & Raade, G. 1978: Heat generation versus depth of crystallization for Norwegian monzonitic rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 39, 145-150.

Rybach, L. 1973: Wärmenproduktionbestimmungen an Gesteinen der Schweizer Alpen. *Beitr. Geol. Schweiz Geotech. Ser.* 51, 43pp.

Rybach, L. & Muffler, L. J. P. 1981: Geothermal Systems: Principles and Case Histories. John Wiley & Sons, 359pp.

Raade, G. 1973: Distribution of radioactive elements in the plutonic rocks of the Oslo region. Hovedoppgave, Universitetet i Oslo. 162pp.

Slater, J.G., Jaupart, C. & Galson, D. 1980, The heat flow through oceanic and continental crust and the heat loss of the Earth: *Rev. Geophys. Space Phys.* 18, 269-311.

Swanberg, C.A. Chessman, M.D., Simmons, S.B., Grønlie, G. & Heier, K. S. 1974: Heat flow – heat generation studies in Norway. *Tectonophysics*, 23 (31-48).

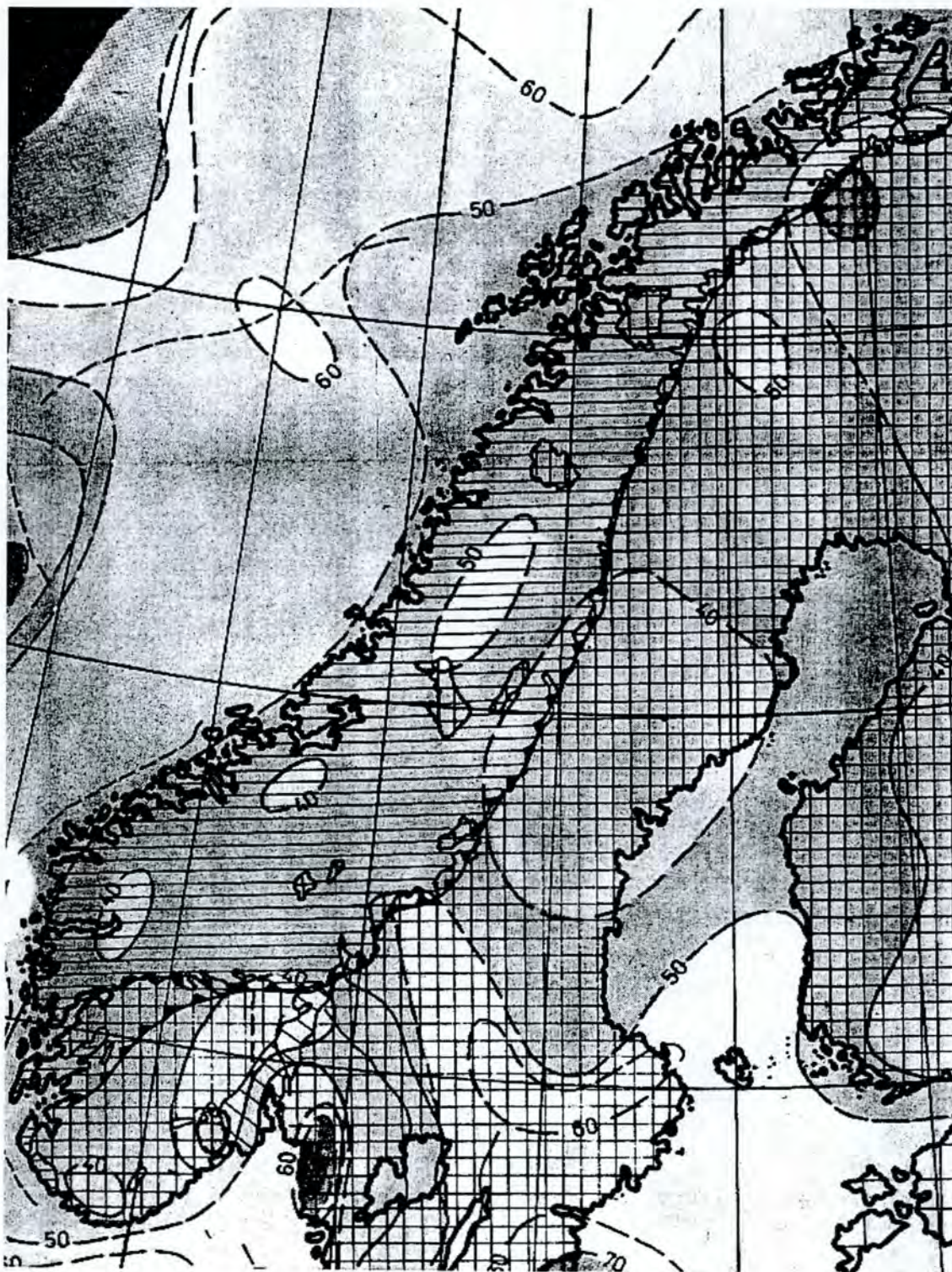
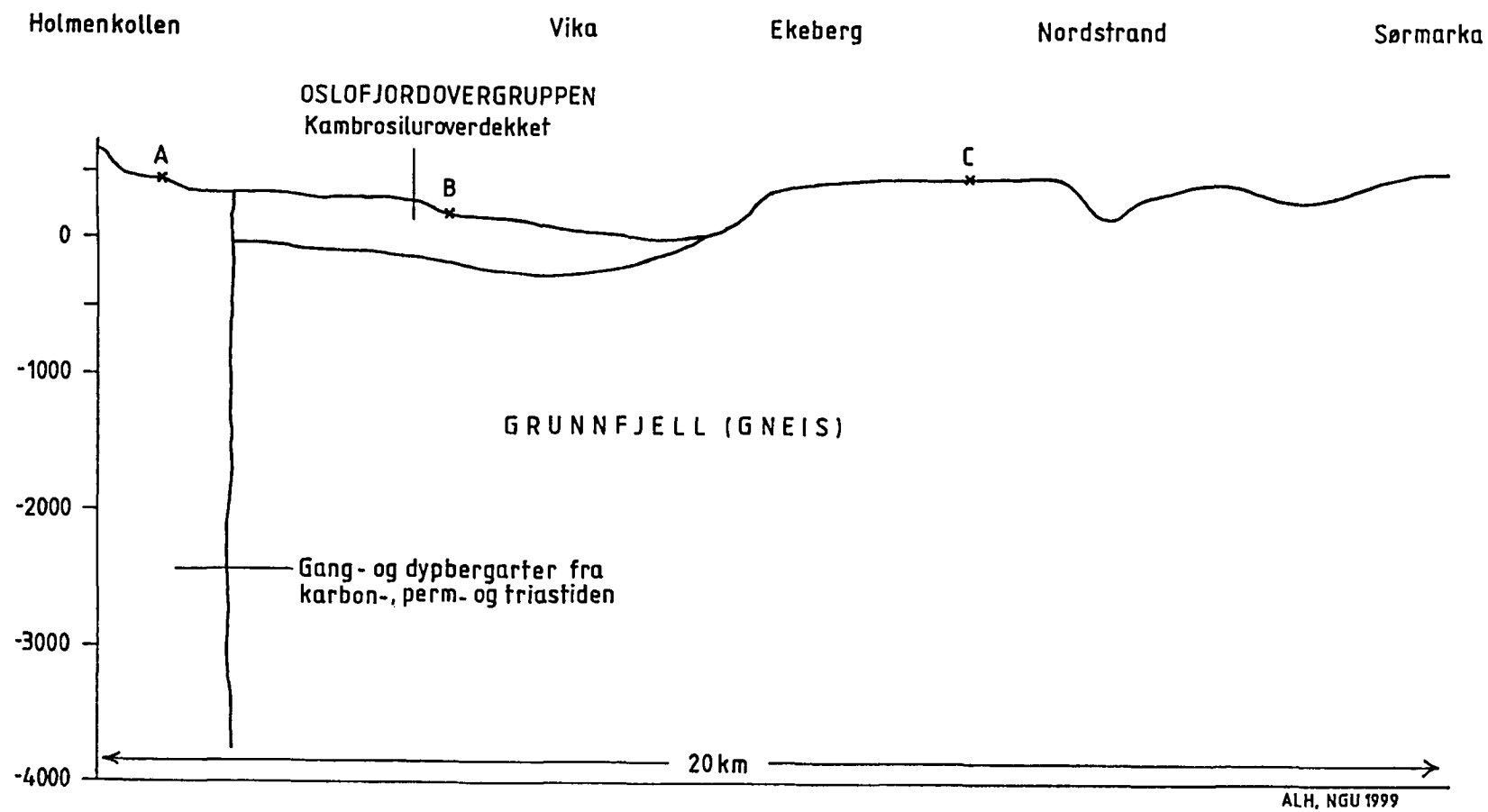
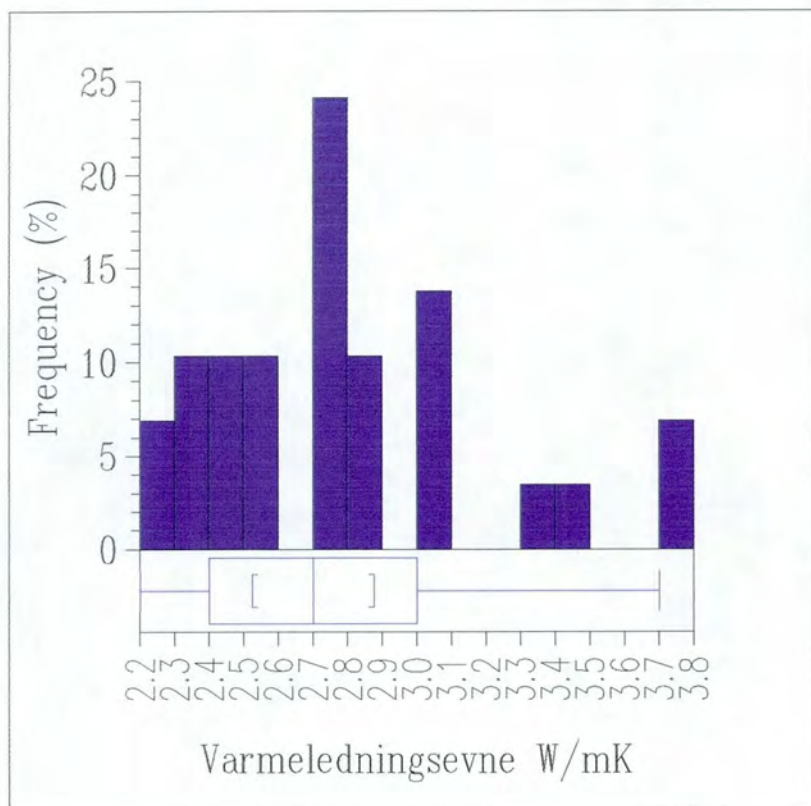


Fig 1. Varmestrøm i Europa fra Cermak & Rybach, 1979
Kotene angir varmemstrøm i mW/m^2

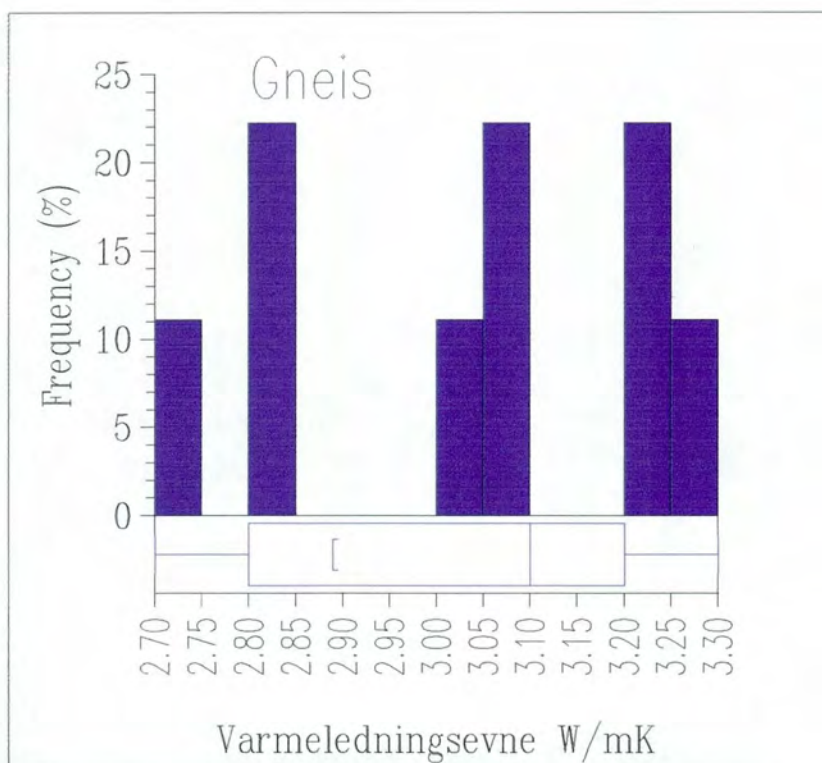


Figur 2 Skisse over prosjektområdet.

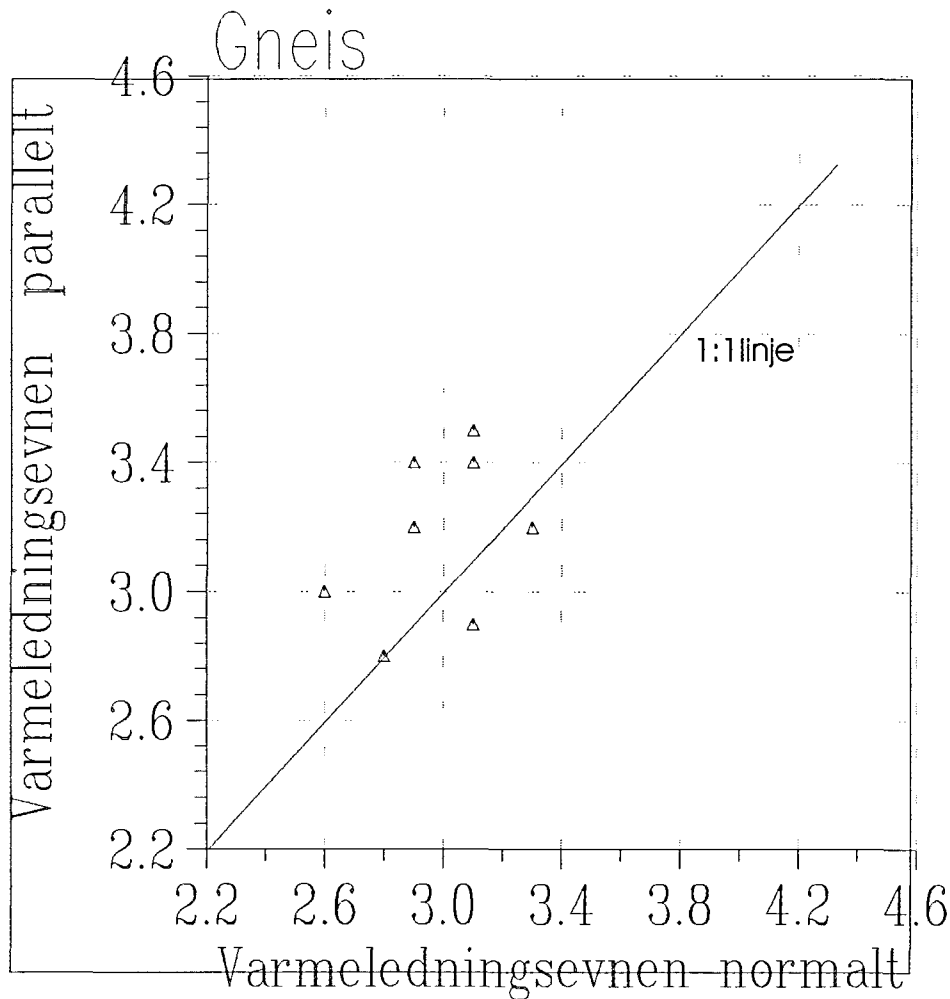
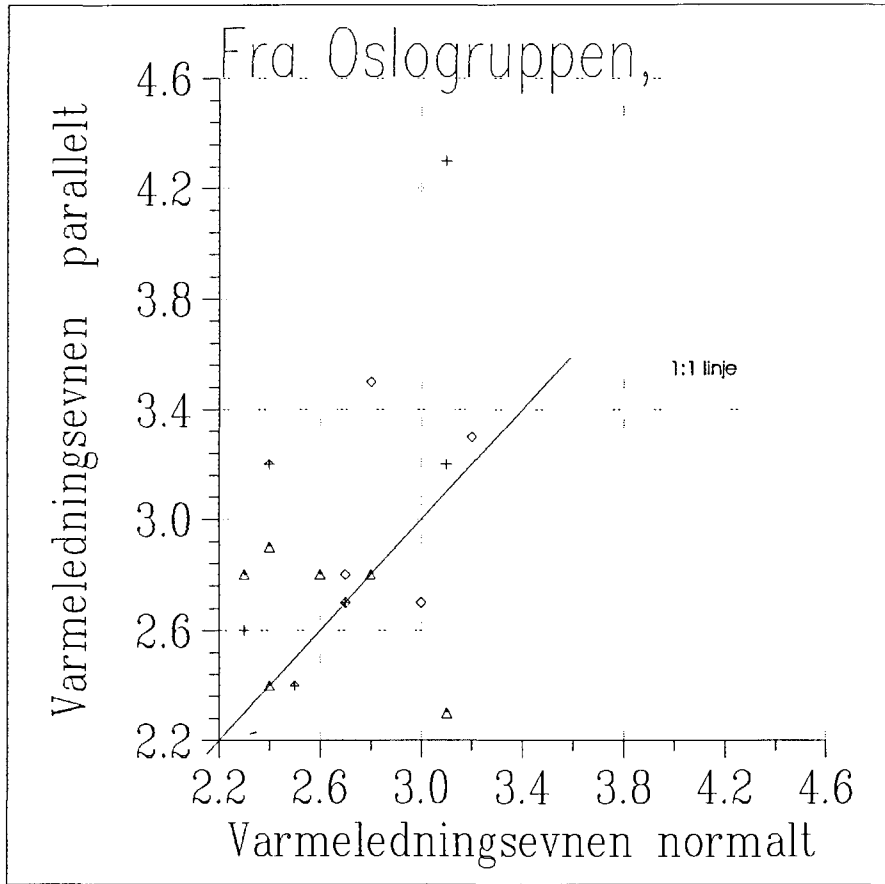


Figur 3.

29 prøver fra Oslogruppen, dvs kambrosiluroverdekket

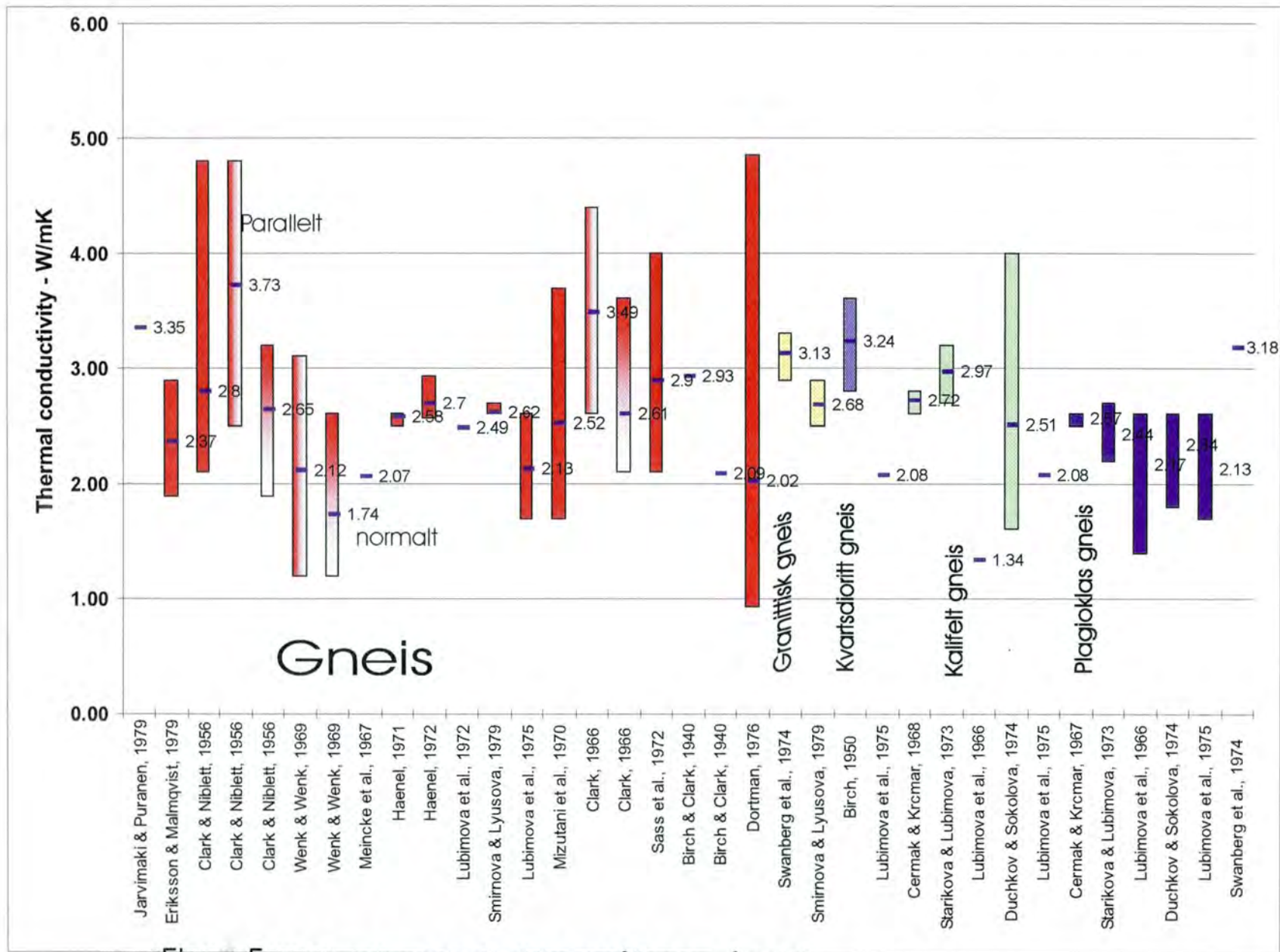


9 gneisprøver

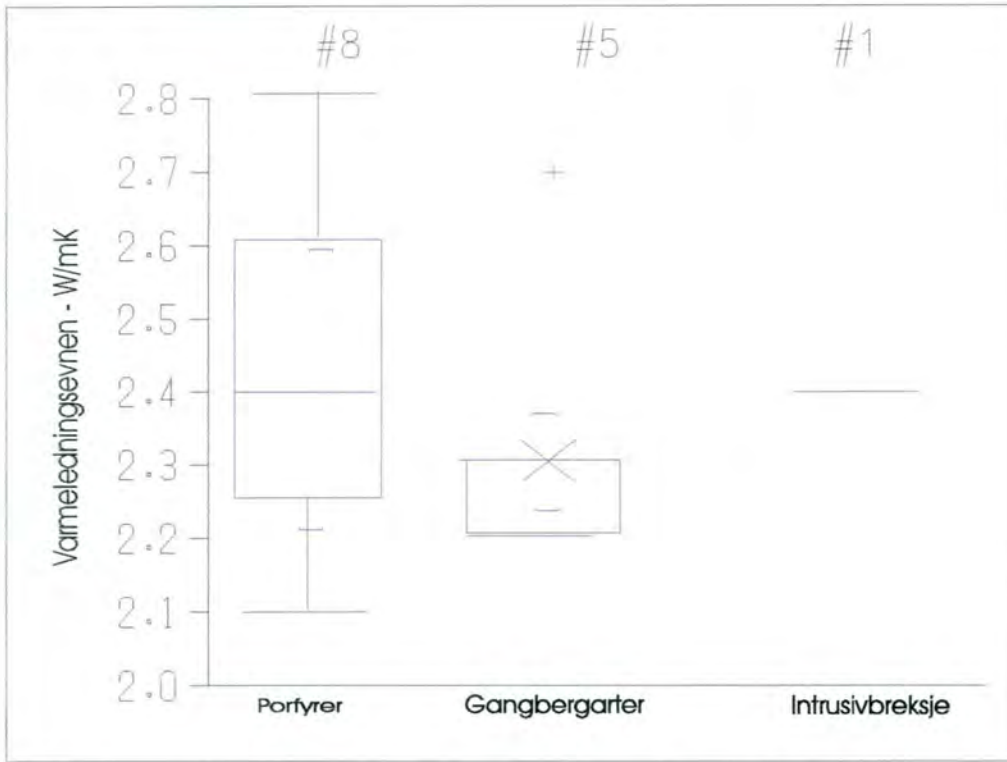


Figur 4

Varmedningsevnen målt normalt med lagdeling plottet mot varmedningsevnen parallelt med lagdelingen for a) prøver fra Oslogr og b) gneisprøver

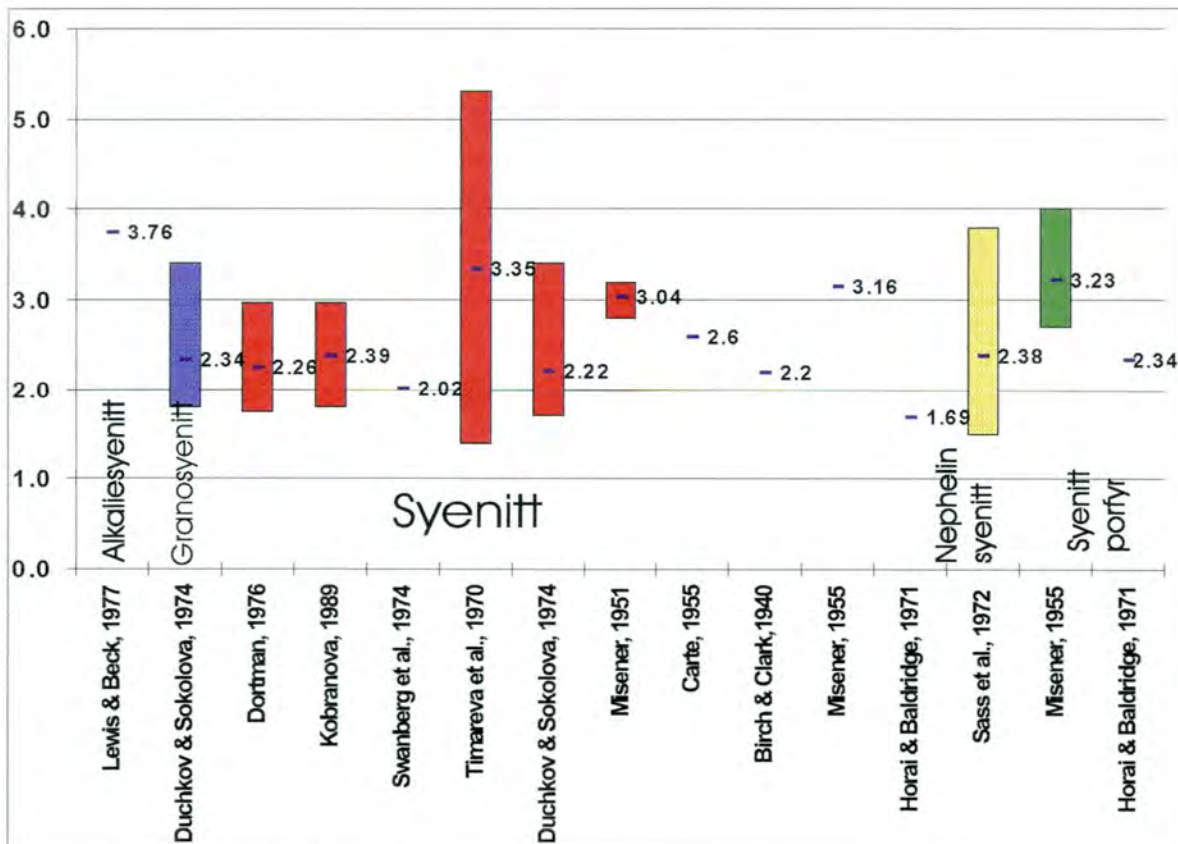


Figur 5 Publiserte varmeledningsmålinger på gneis



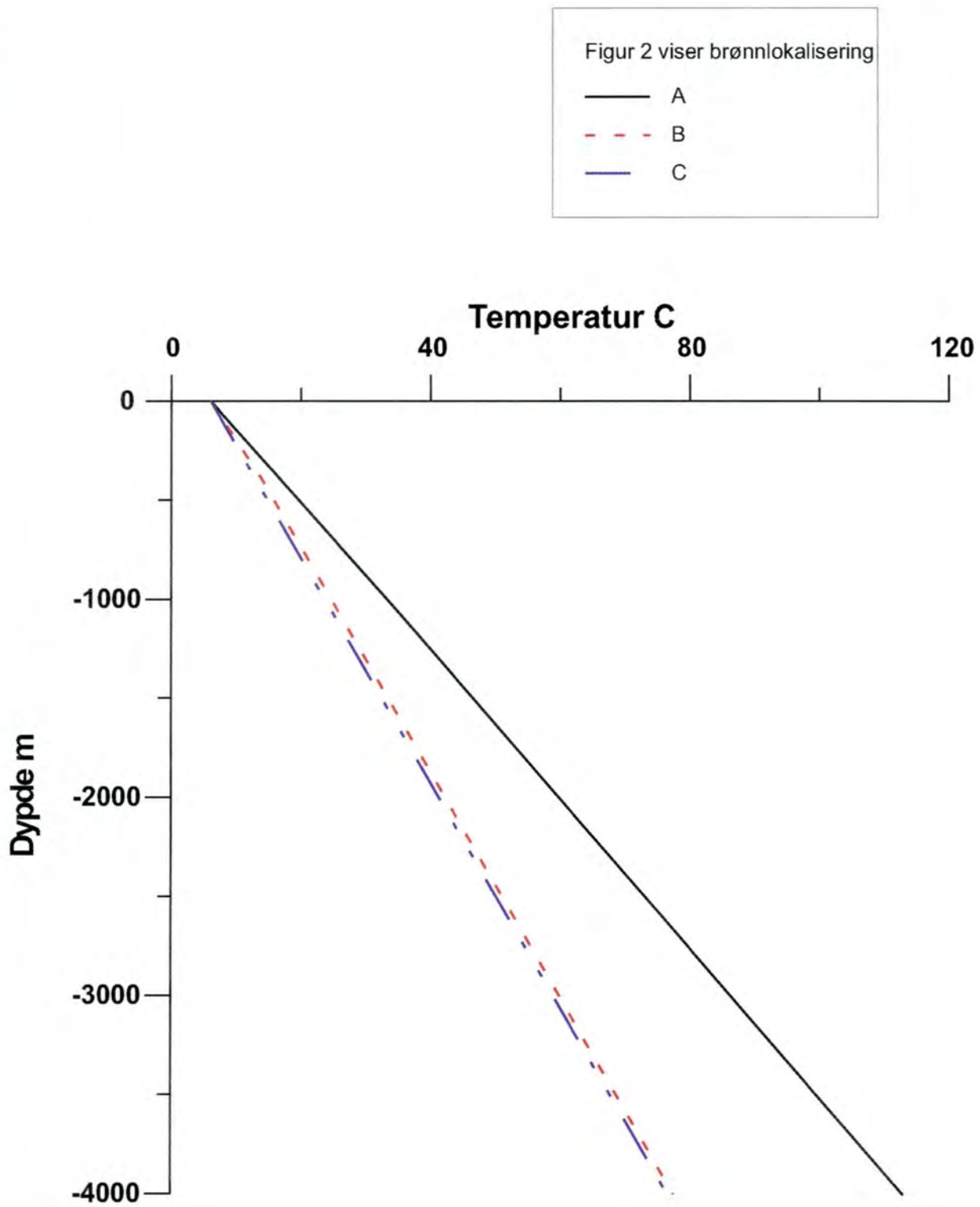
Figur 6

Varmeledningsevner målt ved NGU på gang og dypbergarter i Osloområdet.



Noen publiserte varmeledningmålinger på syenitter, middelverdien er angitt.

Figur 7. Antatt temperatur med dypet for de tre lokalitetene vist i figur 2



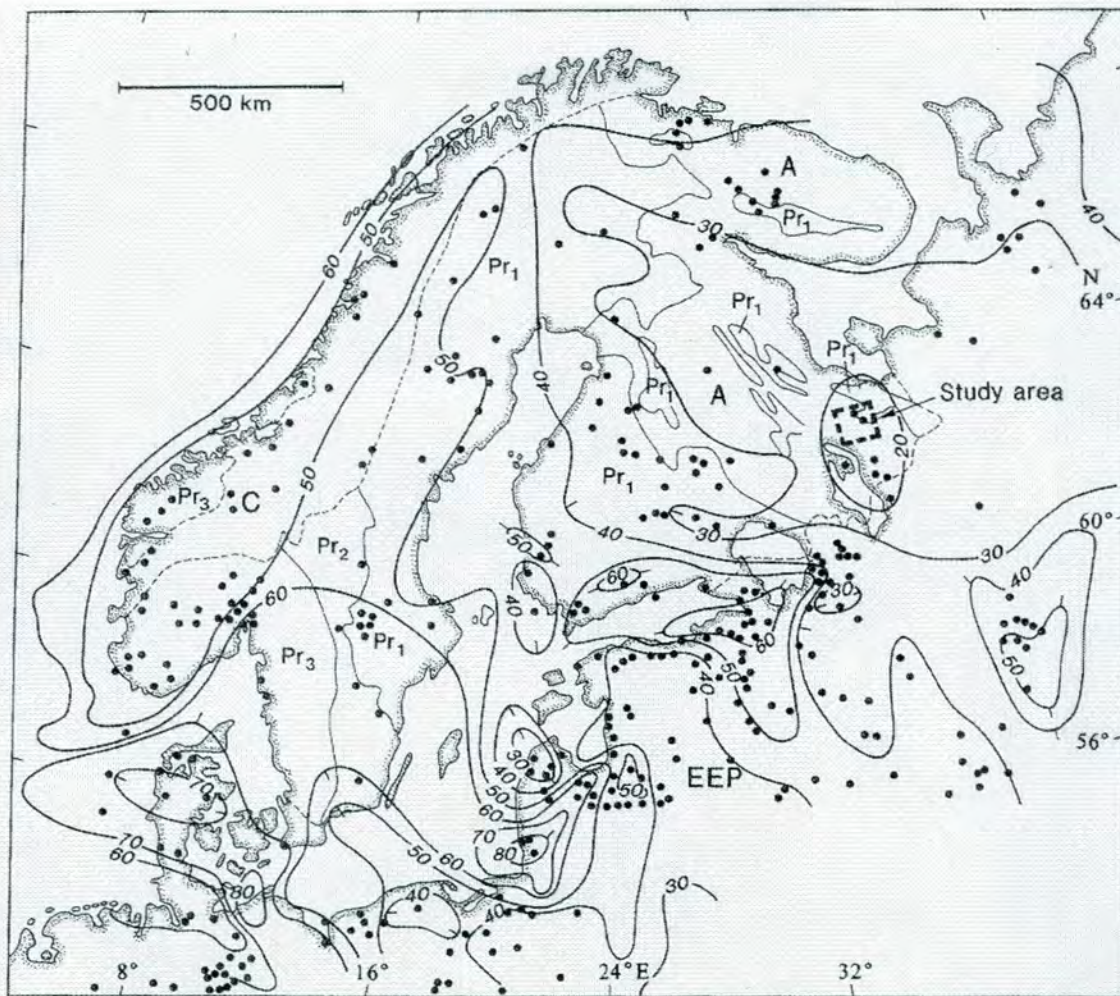


Fig. 1. Heat flow density in Fennoscandia and adjacent areas. Adapted from Čermák et al. (1993) and Kukkonen and Jöeleht (1996). Geological boundaries are from Papunen and Gorbunov (1985): A = Archaean; Pr_1 = Lower Proterozoic (1750–2500 Ma); Pr_2 = Middle Proterozoic (1200–1750 Ma); Pr_3 = Upper Proterozoic (900–1200 Ma); C = Caledonides; EEP = East European Platform.

Fig. 8 Fra Kukkonen et al., 1998

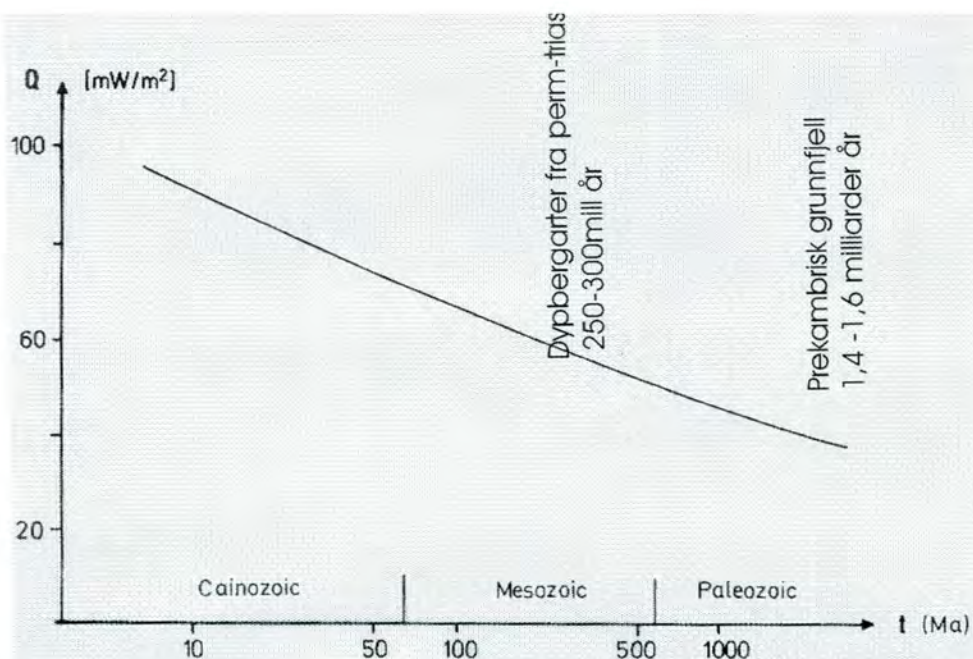


Fig 9. Varmestrøm plottet mot geologisk alder (Buntebarth, 1984).

Bergrunnsgeologi

Oslo - Maridalen

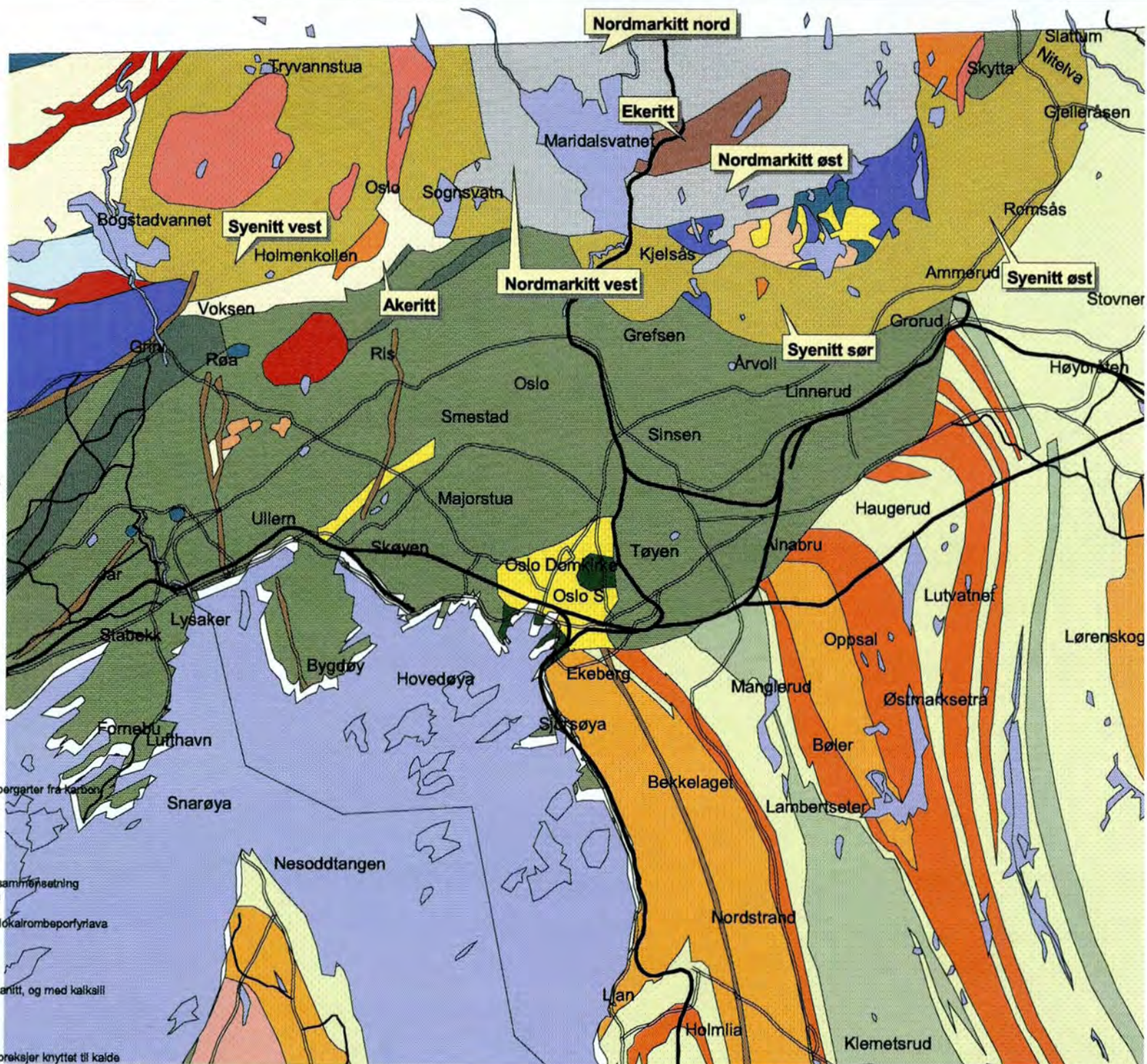


0 1000 2000 3000 4000 5000 Meters

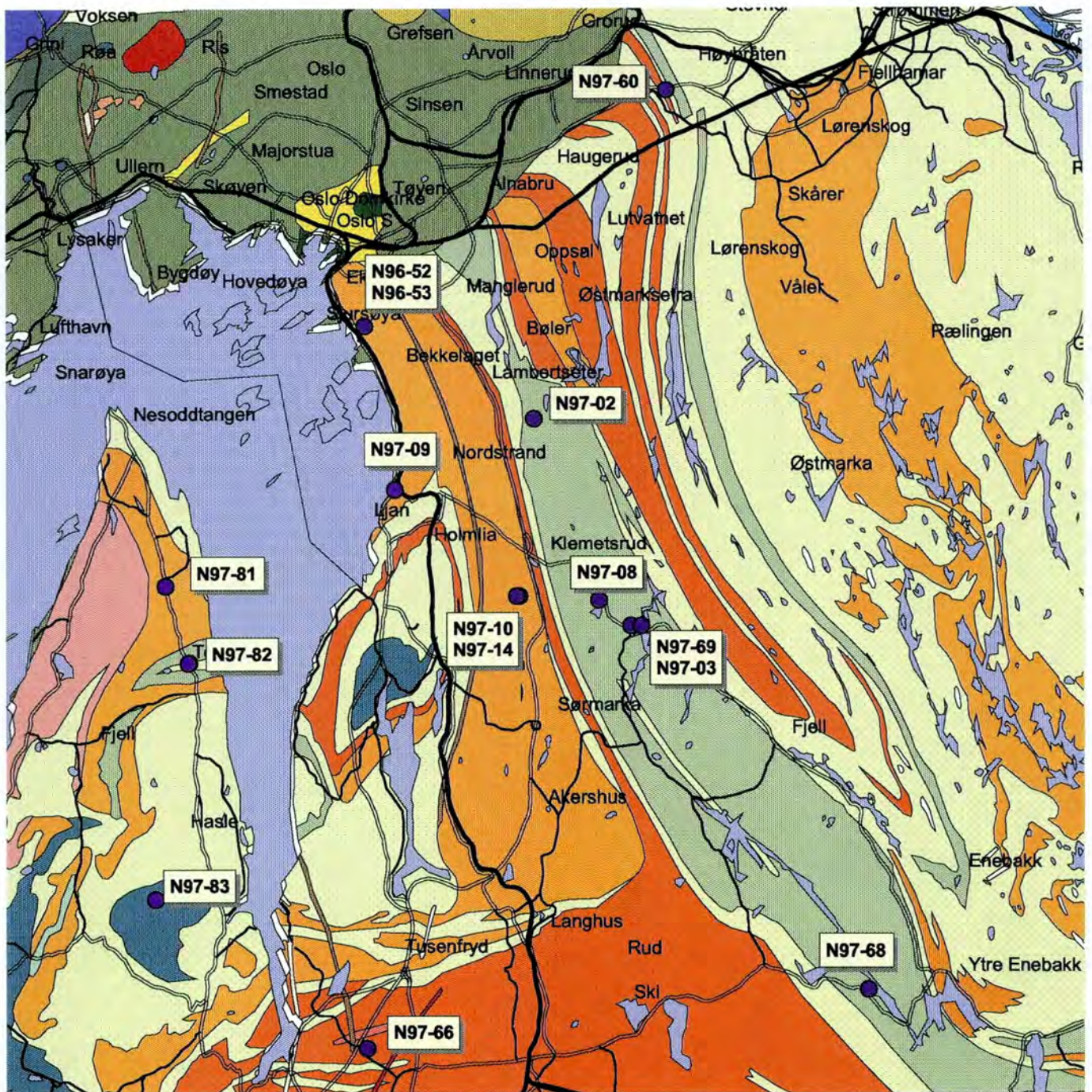
Tegnforklaring



- Alkaligranitt (ekeritt), middels- til grovkornet
- Alkalisyenitt og alkali-kvartssyenitt (nordmarkitt)
- Alunskifer, sandstein og konglomerat, kambriisk alder
- Basalt (B1,B2 = basaltlava nr. 1,2 osv. B1 ligger over sedimentære bergarter fra karbon)
- Gabbro, pyroksenitt, anortositt, dioritt ("Oslo-essexit") i vulkaner
- Granitt, fin- til middelskornet, delvis porfyrisk
- Granittisk øyegnels, med særlig store øyne (5-10 cm)
- Granittisk gneis, overveiende migmatittisk
- Granittisk til tonallittisk biotittgneis, migmatittisk, stedvis øyegnels
- Granodioritt og tonallitt, massiv og foliert
- Ignimbritt, vesentlig rhyolittisk sammensetning, men også traktyttisk sammensetning
- Kalkstein, leirstein og sandstein, tidligallurisk alder, Bærumsgruppen
- Konglomerat med boller vesentlig av rombeporfy
- Latitt, rombeporfy (RP1,RP2 = rombeporfyriava nr. 1,2 osv., RPL = lokallrombeporfyriava)
- Leirsteiner, mergelsteiner og kalkstein, ordovicisk alder
- Leirstein, sandstein og konglomerat
- Mikrosyenitt (mønalt), gangbergart
- Mylonitt, blastomylonitt og sterkt deformert gneis
- Overveiende biotitt-muskovittgneis, stedvis med disten og/eller sillimanitt, og med kalkall
- Ryolitt til traktytt
- Syenitt (grefsen-syenitt m.fl.)
- Syenitt til kvartsmonzodioritt, finkornet (akeritt)
- Syenittporfy og kvartssyenittporfy, i ringganger og mindre kropper
- Vulkansk breksje, agglomerat, dagnær eruptivbreksje og tektoniske breksjer knyttet til kaide



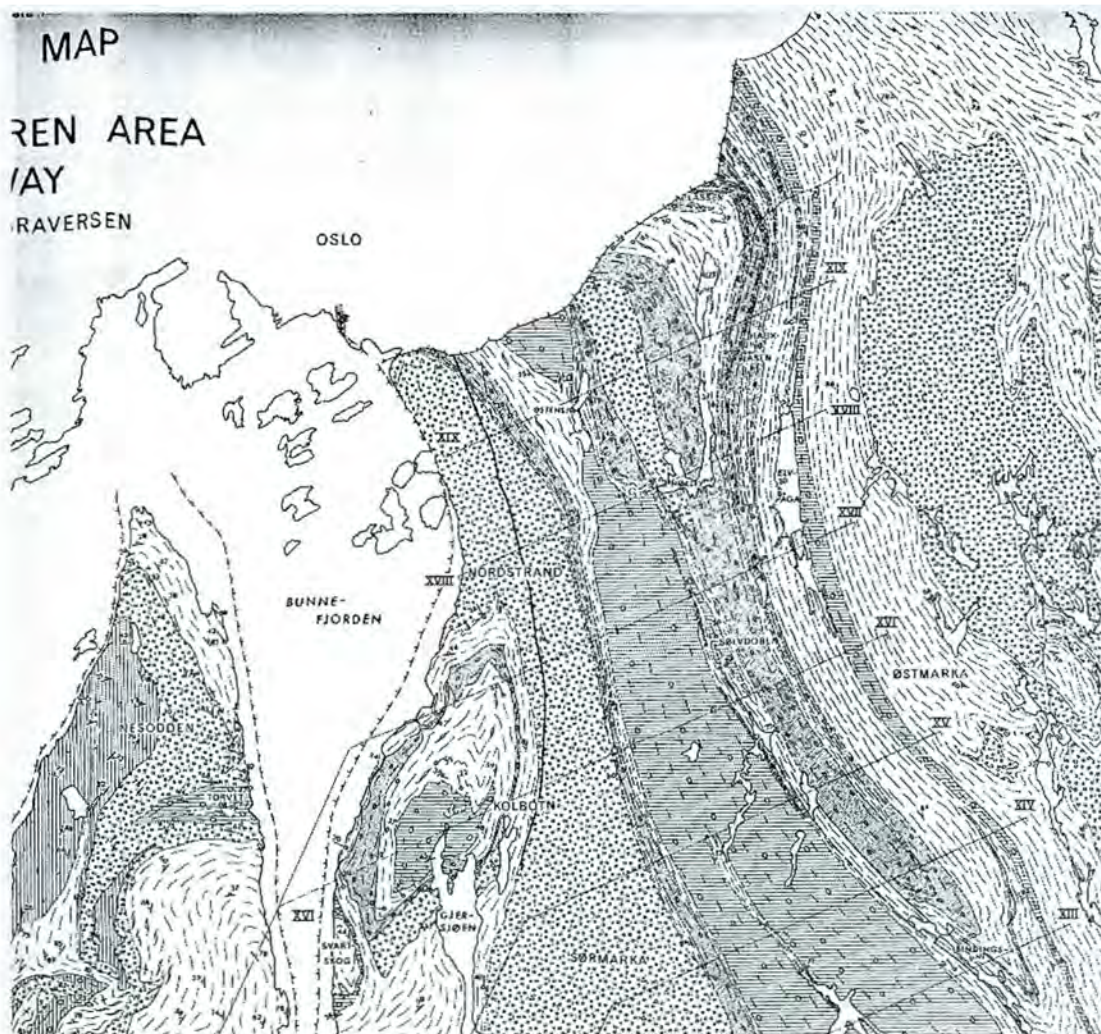
Bergrunnsgeologi Oslo, Nesodden, Østmarka m/prøvepunkt



0 2000 4000 6000 8000 Meters






- Alkalipyroksenitt med titanomagnetitt og apatitt (jacupirangitt), camptonitt (cp)
- Alunskifer, sandstein og konglomerat, kambrisk alder
- Amfibolitt (stedvis migmatittisk), metadabas, metagabbro / Metagabbro
- Basalt (B1, B2 = basaltlava nr. 1, 2 osv. B1 ligger over sedimentære bergarter fra karbon-)
- Gabbro, pyroksenitt, anortositt, dioritt ("Oslo-essexitt") i vulkanrør
- Granitt, fin- til middelskornet, delvis porfyrisk
- Granitt, grovkornet
- Granittisk øyegneis**
- Granittisk øyegneis, med særlig store øyne (5-10 cm)
- Granittisk gneis, finkornet, omdannet subvulkansk porfyr
- Granittisk gneis, overveiende migmatittisk
- Granittisk til tonalittisk biotittgneis, migmatittisk, stedvis øyegneis
- Granodioritt og tonalitt, massiv og foliert
- Ignimbritt, vesentlig rhyolittisk sammensetning, men også traktittisk sammensetning
- Kalkstein, leirstein og sandstein, tidligsilurisk alder, Bærumgruppen
- Klorittamfibolitt, mafisk til ultramafisk, stedvis mylonittforsklifret
- Konglomerat med boller vesentlig av rombeporfyr
- Latitt, rombeporfyr (RP1, RP2 = rombeporfyr lava nr. 1, 2 osv., RPL = lokalrombeporfyr lava)
- Leirskifer, mergelskifer og kalkstein, ordovicisk alder
- Leirstein, sandstein og konglomerat
- Lys dioritt, meta-anortositt
- Mikrosyenitt (mønaitt), gangbergart
- Mylonitt, blastomylonitt og sterkt deformert gneis
- Overveiende biotitt-muskovittgneis, stedvis med disten og/eller sillimanitt.
- Ryolitt til traktitt
- Sandstein, sensilurisk alder, Ringeriksgruppen
- Skriftgranitt
- Syenitt (grefsensyenitt m.fl.)
- Syenitt til kvartsmonzodioritt, finkornet (akeritt)
- Syenittporfyr og kvartssyenittporfyr, i ringganger og mindre kropper
- Vulkansk breksje, agglomerat, dagnær eruptivbreksje og tektoniske breksjer knyttet til kalde



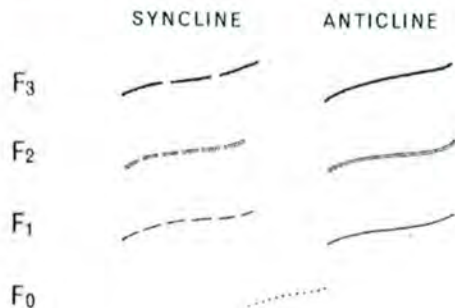
Figur 12 a. Skisse over tverrsnitt 16-19, (Graversen, 1984).

VERTICAL CROSS SECTIONS OF THE GEOLOGICAL STRUCTURES IN THE OSLOFJORD-ØYEREN AREA SE NORWAY BY OLE GRAVERSEN

LEGEND

-  GRANITIC ORTHOGNEISS
-  AUGEN GNEISS
-  SUPRACRUSTAL GNEISS

TRACE OF AXIAL PLANES



LETTERS REFER TO STRUCTURE NAMES INDICATED IN PLATE 3

SECTION LINES ARE INDICATED IN PLATES 1 & 3.
THE GENERAL ORIENTATION OF THE CROSS SECTIONS
IS SW - NE (FROM LEFT TO RIGHT)

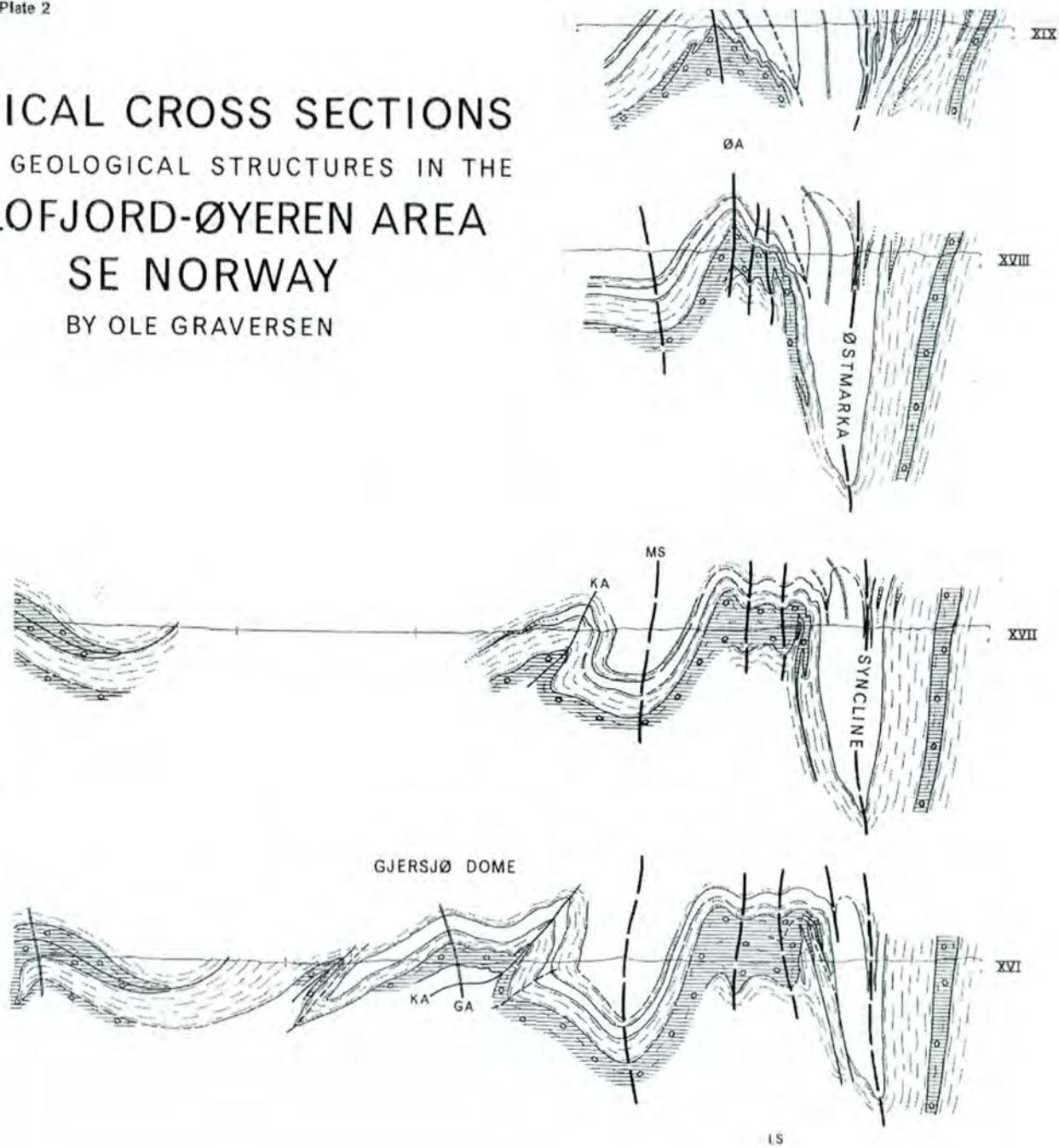
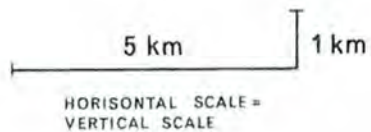
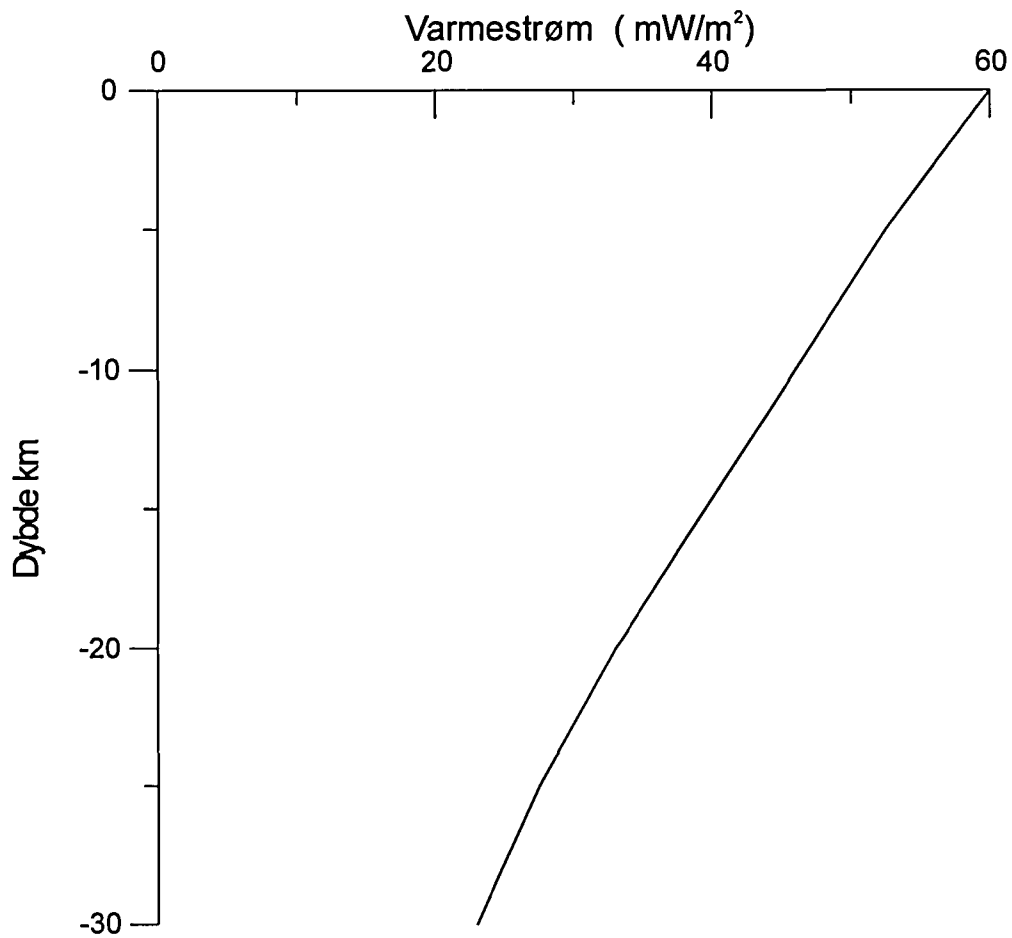


Fig.12 b Tversnitt 16-19 fra Graversen, 1984.



Figur 13. Antatt variasjon i varmemstrømmen med dypet i det reine grunnfjellsområdet

Tabell 2-4, Antatt radioaktiv energiproduksjon i forskjellige bergarter, fra Rybach og Muffe, (1981).

Table 1.2. Heat production of igneous rocks (after Rybach, 1976b)

Rock (intrusive/extrusive)	A ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)	ρ (kg/m^3)	Δq^* (mW/m^2)
Granite/rhyolite	2.45	2670	2.5
Granodiorite/dacite	1.49	2720	1.5
Diorite, quartz diorite/ andesite	1.08	2820	1.1
Gabbro/basalt	0.31	2980	0.3
Ultramafic—peridotite	0.012	3230	0.01
—dunite	0.0019	3280	0.002

* Contribution to surface heat flow per 1 km thickness.

Table 1.3. Heat production of metamorphic rocks with granodioritic composition (after Heier and Adams 1965; Rybach, 1976b)

Metamorphic grade	A^* ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)	ρ (kg/m^3)	Δq (mW/m^2)
Greenschist/low amphibolite facies	3.15	2700	3.2
High amphibolite facies	1.17	↓	1.2
Low granulite facies	0.73	↓	0.7
High granulite facies	0.45	2900	0.4

* Calculated for $\bar{\rho} = 2750 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Table 1.4. Heat production of sedimentary rocks (after Rybach, 1976b)

Rock	A ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)	ρ^* (kg/m^3)	Δq (mW/m^2)
Carbonates		2600	
Limestone	0.62		0.6
Dolomite	0.36		0.4
Sandstones		2400	
Quartzite	0.33		0.3
Arkose	0.85		0.8
Graywacke	1.0		1.0
Shales	1.8	2400	1.8
Deep sea sediments	0.78	1300	0.8

* Broad average since ρ depends strongly on porosity.

Tabell 5						
Heat production						
10-5 r (9.52cU + 2.56cTh + 3.38cK)						
Data fra Raade 1974.						
	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	Tetthet	V.prod (10-6W/m3)	
Nordmarkitt (Alkaliesyenitt og alkalie-kvartssyenitt)						
Øst for Maridalsvannet						
179	2.5	10	4.37	2600	1.67	
180	1.3	8.5	4.63	2600	1.29	
181	2.5	12.7	4.51	2600	1.86	
182	0.8	8.1	4.87	2600	1.17	
183	2	12.5	5.02	2600	1.77	
186	1.7	11.5	5.24	2600	1.65	
188	1.3	8.9	4.95	2600	1.35	
218	1	4.6	5.38	2600	1.03	
				Middel:	1.47	
Vest for Maridalsvannet						
918	2.7	22.5	4.9	2600	2.60	
920	1.3	9.8	4.59	2600	1.38	
921	2.2	18.6	4.76	2600	2.20	
				Middel:	2.06	
Nordmarka						
215	1.2	5.1	5.18	2600	1.09	
216	1.9	14	4.73	2600	1.82	
217	1.6	7.3	5.45	2600	1.36	
220	1.3	7.7	5.18	2600	1.29	
221	3.5	16.9	4.53	2600	2.39	
885	7	20.8	4.55	2600	3.52	
887	1.2	5.9	4.46	2600	1.08	
894	3.8	16.8	4.57	2600	2.46	
895	1.6	6.2	4.38	2600	1.19	
924	1.6	9.9	4.86	2600	1.48	
925	2.6	12.2	4.63	2600	1.86	
				Middel:	1.78	
				Middel for Nordmarkitten	1.70	
Grefsensyenitt						
Øst						
173	2.3	9.6	5.08	2600	1.65	
174	3.1	16.8	4.92	2600	2.32	
175	1.9	9	5.18	2600	1.52	
176	2	8.5	4.14	2600	1.42	
177	1.7	8.8	4.94	2600	1.44	
178	1.7	9.2	5.22	2600	1.49	
185	2.2	11.8	4.75	2600	1.75	
				Middel:	1.66	
Sør						
184	2.8	12	4.55	2600	1.89	
189	3.5	14.5	4.76	2600	2.25	
190	3.1	12	4.64	2600	1.97	
191	2.1	8.6	4.88	2600	1.52	
192	2.4	9.5	4.52	2600	1.62	

						1.85
Nord						
219	1.6	5.4	4.56	2600		1.16
884	3	12.3	4.32	2600		1.94
						1.55
Vest						
931	2.4	10.1	4.21	2600		1.64
932	2.9	11.3	4.45	2600		1.86
933	3.8	15.4	4.29	2600		2.34
						1.95
Ved Kobberhaughytta, Nordmarka						
883	2.4	11.6	4.59	2600		1.77
			Middel for Grefsensyenitt			1.75
Ekeritt, alkaligranitt middels til grovkornet						
187	5.1	32.3	3.95	2600		3.76
Akeritt, syenitt til kvartsmonsodioritt						
934	2.1	10	3.11	2600		1.46
936	2.4	10.5	3.3	2600		1.58
937	2.4	10.2	3.08	2600		1.54
				Middel		1.53

Tabell 6. Prøver fra NGU									
NGU-prøver, gneiser fra Akershus.									
			U (ppm)	Th (ppm)	K ₂ O	K (%)	Tetthet (kg/m ³)	Varmeprod (10 ⁻⁶ W/m ³)	
N96-52	Tonalittisk gneis	Jomfrubråten (Kongsveien)	1.83	2.77	2.1	1.74	2600	0.79	
N96-53	Granittisk gneis	Jomfrubråten (Kongsveien)	1.13	10.5	4.49	3.72	2600	1.31	
N97-02	Augegneis	Skullerud	1.30	8.50	4.09	3.39	2600	1.19	
N97-03	Augegneis	Svartkulp (R155)	1.68	8.13	4.77	3.95	2600	1.30	
N97-08	Augegneis	Steinsrudtj.	1.49	5.73	4.66	3.86	2600	1.09	
N97-09	Granodiorittisk gneis	Ljan terrasse	3.02	11.5	2.96	2.45	2600	1.73	
N97-10	Finkorna grå gneis	Slimevegen, Bjørndal	2.71	12.7	2.99	2.48	2600	1.73	
N97-14	Tonalittisk gneis	Granbergstubben, Bjørndal	1.77	12.6	2.02	1.67	2600	1.42	
N97-60	Porfyroklastisk augegneis	Ellingsrud	2.66	10.9	4.8	3.98	2600	1.73	
N97-66	Granittisk gneis	Kirkerudtjernet	3.21	12.9	4.25	3.52	2600	1.96	
N97-68	Augegneis	Kollerøys	1.98	9.88	4.58	3.80	2600	1.48	
N97-69	Augegneis	Siggerudvegen	1.47	14.7	5.48	4.54	2600	1.74	
N97-81	Middelskorna granittisk gneis	Flateby	4.77	18.0	5.22	4.33	2600	2.76	
N97-82	Grårosa augegneis	Torget	5.38	17.9	4.5	3.73	2600	2.85	
N97-83	Grårosa augegneis	Kai	2.82	23.00	4.86	4.03	2600	2.58	